

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 01-259533

(43)Date of publication of application : 17.10.1989

(51)Int.Cl.

H01L 21/30  
G02B 26/10  
H01S 3/101

(21)Application number : 63-088453

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 11.04.1988

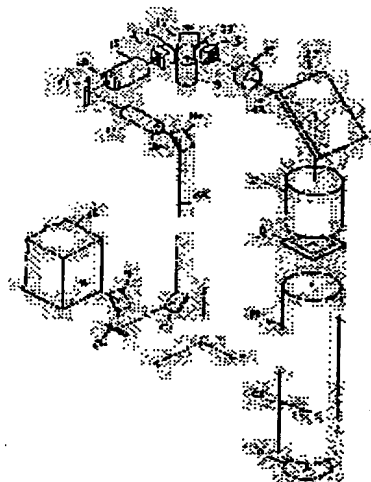
(72)Inventor : ICHIHARA YUTAKA

## (54) ILLUMINATING OPTIC DEVICE

## (57)Abstract:

PURPOSE: To eliminate exposure nonuniformity due to interference fringes produced in an exposed area on a wafer by providing a first rocking means which allows light entering a second optical integrator to be rocked at least one-dimensionally.

CONSTITUTION: A rocking means (a first scanning mirror-17, etc.) which allows light flux incident on a second optical integrator to be rocked at least in one direction (one dimension) is provided between a first-stage optical integrator (a fly eye lens 3, a single rod, or an optical fiber flux) and a second-stage optical integrator (a fly eye lens 5, etc.). Thus, the optical integrator is configured in two stages to allow illumination distribution on an object to be illuminated to be uniform and speckle pattern (interference fringe) to be smoothed satisfactorily by rocking a scanning mirror 17. It allows a uniform illumination light without any ghost, speckle, etc., to be obtained.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

## ⑫ 公開特許公報(A) 平1-259533

⑤ Int. Cl. 4

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成1年(1989)10月17日

H 01 L 21/30  
G 02 B 26/10  
H 01 L 21/30  
H 01 S 3/101

3 1 1

S-7376-5F

D-7348-2H

L-7376-5F

7630-5F 審査請求 未請求 請求項の数 3 (全13頁)

⑭ 発明の名称 照明光学装置

⑮ 特 願 昭63-88453

⑯ 出 願 昭63(1988)4月11日

⑰ 発 明 者 市 原 裕 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑱ 出 願 人 株 式 会 社 ニ コ ン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

⑲ 代 理 人 弁 理 士 渡 辺 隆 男

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

照明光学装置

## 2. 特許請求の範囲

(1) 可干渉性のビームを発生する光源と、該ビームを入射して、被照明体に均一な照度分布の光を照射する照度分布均一化手段とを備えた装置において、

前記照度分布均一化手段は、前記光源からのビームを入射する第1オブチカル・インテグレートと、該第1オブチカル・インテグレートから射出した光を入射する第2オブチカル・インテグレートとを有し、前記第1オブチカル・インテグレートと第2オブチカル・インテグレートとの間に、該第2オブチカル・インテグレートに入射する光を少なくとも一次元に揺動させる第1の揺動手段を設けたことを特徴とする照明光学装置。

(2) 前記照度分布均一化手段は、前記第1オブチカル・インテグレートに入射するビームを少なくとも一次元に揺動させる第2の揺動手段を含む

ことを特徴とする請求項第1項記載の装置。

(3) 前記光源は、前記ビームの断面内で所定の第1方向に関して空間的コヒーレンスの高いパルスレーザ光を発振するレーザ光源であり、前記第1の揺動手段の一次元の揺動方向を、前記第1方向と直交する方向に対して交差させたことを特徴とする請求項第1項記載の装置。

## 3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、エキシマレーザ光等のような可干渉性のビームを用いた半導体製造用露光装置等に使用される照明光学装置に関するものである。

〔従来の技術〕

半導体製造用露光装置は光源からの露光光の短波長化による高解像力化が行われている。現在最も有力な短波長光源はエキシマレーザである。第2図は従来の水銀ランプ系(光源としたときに最適に設計された)照明系にエキシマレーザ光源を入れた場合の光路を模式的に示した図である。

レーザ光源からのビームLBは図中の左からオブ

チカル・インテグレートとしてのフライアイレンズ1にはほぼ平行光束となって入射する。このフライアイレンズ1はレチクルRを一様に照明するため不可欠なものである。

さてフライアイレンズ1は、ここでは3つのエレメントレンズ1a、1b、1cで構成され、各エレメントレンズの射出端側の空間a、b、cに2次光源（レーザ光の集光スポット）が形成される。それら各点a、b、cから拡散した光は、コンデンサーレンズ2で集められ、レチクルRを均一な照度分布で照明する。レチクル上のパターンは投影レンズPLによりウェハWへ投影露光される。又、2次光源a、b、cは投影レンズPLの端面epに結像されている。

通常フライアイレンズを構成するエレメントレンズの個数は $10 \times 10 = 100$ 個の2次元配列をしているが、ここではわかり易くするため3個のレンズ1a、1b、1cを1次元配列で代表して示した。

ところがこの照明系には以下のような問題点が

ンズ5-1、5-2、5-3の各射出端側に3次光源（スポット光）a<sub>1</sub>、b<sub>1</sub>、c<sub>1</sub>を作る。この3次光源は2次光源より数が増えているので各点の強度は非常に弱くなっている。

第3図において、第1のフライアイレンズ3のビームLBの入射側では、各エレメントレンズ（石英による四角柱のロッド）3a、3b、3cは球面に形成され、射出端側は平面に形成されていて、2次光源a、b、cを空間中に作るように定められている。集光レンズ4は2次光源a、b、cの夫々からの発散光を有効に第2のフライアイレンズ5に入射させるために、フライアイレンズ5の入射端からレンズ4の焦点（f）距離だけ離れた位置に配置されるとともに、各2次光源a、b、cが集光レンズ4の内部に位置しないように2次光源a、b、cからわずかに離して配置される。フライアイレンズ5の各エレメントレンズ（石英による四角柱のロッド）5-1、5-2、5-3の入射端は曲率R<sub>1</sub>の球面に形成され、射出端は曲率R<sub>2</sub>よりも小さな曲率R<sub>2</sub>の球面に形

あった。すなわち水銀ランプの場合と異なり、レーザ光をフライアイレンズ1に入射すると2次光源a、b、cは非常に高輝度なスポットとなる。従ってこの2次光源が光路中の光学部品（レンズ等）に結像（集光）すると、光学部品の破壊が生じるという問題である。又、レンズの表面等の極く弱い反射によってでもレチクル近傍に2次光源が結像すると、それらの光源像がレチクルで反射されウェハ上に再結像してしまい、ゴーストが生じるという問題もあった。

しかしながら、このような問題は、本願出願人が開発した新たな手法によって簡単に解決できることが確認された。それは例えば特開昭58-147708号公報に開示されているように、フライアイレンズを2組用いる方法をさらに改良した方法である。この方法を第3図に示す。図に示すように第1のフライアイレンズ3によってできた2次光源a、b、cからの光を集光レンズ4で集光して第2のフライアイレンズ5に入射させることによってフライアイレンズ5の各エレメントレ

成されており、3次光源a<sub>1</sub>、b<sub>1</sub>、c<sub>1</sub>を空間中に作るように定められる。各3次光源a<sub>1</sub>、b<sub>1</sub>、c<sub>1</sub>の夫々から発散した光は、第2図に示したコンデンサーレンズ2を介してレチクルR上で同時に重ね合わされ、均一な照度分布が得られる。ここで3次光源a<sub>1</sub>、b<sub>1</sub>、c<sub>1</sub>が作られる面ep'は、投影レンズPLの端面epと共役な面であり、同時に2次光源a、b、cが作られる面とも共役である。

第4図は第2のフライアイレンズ5の射出面側の平面図であり、フライアイレンズ5のエレメントレンズが、例えば3×3（9個）でマトリックス状に配列された場合を示す。ここで仮りに第1のフライアイレンズ3も、3×3（9個）のエレメントレンズで構成されているものとする、フライアイレンズ5の1つのエレメントレンズの射出端側には9個の3次光源が作られる。そして1つの2次光源、例えばaは、フライアイレンズ5の9個のエレメントレンズの各射出端面上の同一位置に3次光源a<sub>1</sub>として作られる。従ってフラ

ファイアイレンズ5の射出側には合計 $9 \times 9$  (81) 個の3次光源(スポット光)が整列することになる。この第3図に示した照度分布均一化光学系そのものは本願発明の基礎となる技術であって、必ずしも公知ではない。

第3図では、1段目、2段目ともフライアイレンズのエレメントレンズの個数を $3 \times 3$  (9個)にしたが、典型的な例では $10 \times 10$  (100) 個程度にするとよい。従って2次光源の個数100に対して3次光源の数は $100 \times 100$  個にまで増え、3次光源の各スポットの強度は1段のフライアイレンズの場合にくらべて $1/100$  程度に低減される。

その結果、破壊、ゴースト等の問題を全て解決することができる。

尚、第3図において、フライアイレンズ5の入射端に近接してレンズを配置して、光の拡散による損失を最少にすることも有効である。また瞳共役面 $e-p'$ とコンデンサーレンズ2の間で、3次光源 $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ に近接した位置に、同様に

レータ方式では話が違ってくる。同様の考え方で、第3図中の2次光源 $a$ 、 $b$ 、 $c$ の夫々から進む光は互いに干渉しないが、2次光源 $a$ から進む光は、第2のフライアイレンズ5によって、各エレメントレンズ5-1、5-2、5-3の各々に3次光源 $a_1$ となつて集光する。第3図において、例えば第1、及び第2フライアイレンズ3、5の各エレメントレンズ(ロッド)径が同一で、配列ピッチの一方方向に10個( $10 \times 10$ )が並ぶものとする、2次光源 $a$ を作るエレメントレンズ3 $a$ を通るビーム径は第2のフライアイレンズ5に達するとき、約10倍に拡大されることになる。このことは、先に述べた干渉を起さない距離も約10倍に拡大されたことを意味する。従って、フライアイレンズ5の各エレメントレンズのピッチに対して、その干渉しない距離の方が大きくなるため、各エレメントレンズ5-1、5-2、5-3等の射出部にできる3次光源 $a_1$ 同志は互いに干渉してしまうことになる。現実的には、フライアイレンズ5のうち、互いに隣り合ったエレメント

光の発散による損失を抑えるフィールドレンズを設けることも有効である。

〔発明が解決しようとする問題点〕

ところが、第3図の構成のものでは、さらに新たな問題点が生ずることが判明した。それはスベックルと呼ばれる干渉縞のような細かい照明ムラが発生することである。第2図において、各2次光源 $a$ 、 $b$ 、 $c$ の夫々から進んでレチクルR上で互いに重なり合う光同志は、互いに干渉し合つて干渉縞が発生する可能性がある。これはフライアイレンズ1のエレメントレンズ1 $a$ 、1 $b$ 、1 $c$ の配列方向のピッチとビームLBの可干渉性によっておおよそ決まってくる。一般にエキシマレーザは干渉性が悪く、ビーム径内である距離以上離れた光同志は互いに干渉しないという特性がある。この距離は、フライアイレンズ1のエレメントレンズ1 $a$ 、1 $b$ 、1 $c$ の配列ピッチよりも短いので、結局、第2図中の2次光源 $a$ 、 $b$ 、 $c$ の夫々からの光は互いに干渉しないことになる。

ところが、第3図に示したダブル・インテグ

レンズで作られる3次光源 $a_1$ 同志、3次光源 $b_1$ 同志、あるいは3次光源 $c_1$ 同志が強い干渉を起こす。

その結果、レチクルR上にはフライアイレンズ5のエレメントレンズ5-1、5-2、5-3の配列方向に対応した1次元又は2次元の干渉縞(スベックル)を生じ、それはそのまま投影レンズPLを介してウェハW上に転写されることになり、正確なパターン転写の妨げとなった。

〔問題点を解決する為の手段〕

上記問題点を解決するために、本発明では第1段のオブチカル・インテグレータ(フライアイレンズ、単一のロッド、又はオブチカル・ファバー束)と第2段のオブチカル・インテグレータ(フライアイレンズ等)との間に、第2段のオブチカル・インテグレータに入射する光束を、少なくとも1方向(1次元)に揺動させる揺動手段(第1の走査ミラー等)を設けるようにした。

この揺動手段による光束の揺動角は、レチクルR(又はウェハW)上にできる干渉縞を1ピッチ

分だけ移動させる程度で十分である。また可干渉性のビームがエキシマレーザ光のようにパルス発光するものでは、揺動角の変化とパルス発光のタイミングとを同期させるのが効率的である。また連続発振のレーザビームでは、ことさら同期の必要性はないが、揺動角の変化率、すなわち被照明体上にできる干渉縞の縞と直交する方向への移動速度をほぼ一定にすると均一化の精度が高まる。

本発明では、パルス発光、連続発光のビームのいずれかを用いて、ある一定時間（パルス発光の場合は複数パルスが必要とする時間）の間、被照明体を均一な照度分布で照明する必要のある装置であれば、光加工装置、アライメント用の照明装置等に広く利用できるものである。

#### 〔作用〕

先に第3図を用いて説明した様にスペックル（干渉縞）は第2フライアイレンズ5による3次光源同志の干渉によって生じている。そこでレチクルR（又はウェハW）を照明する間、第2フライアイレンズ5に入射する光束の波面を傾けて、

ができる。このことを模式的に描いたのが第5図である。第5図（a）は、周期的なスペックル（干渉縞）の強度分布を1次元に模式的に描いたものである。となりあったフライアイレンズの元素トレンズに $2\pi/4$ ずつ位相差を増しながら、エキシマレーザ光の4パルスを被照明体に照射したときに生じる各パルス毎のスペックルの重なった様子を示したのが第5図（b）である。これを加算（積算）すると第5図（c）の様にスペックルが平滑化されて消えてしまう。厳密には、ある一定の強度分布にリップル成分が重畳する。このパルス数は多ければ多い程良いが通常は数10パルスで十分な効果が得られる。

#### 〔実施例〕

次に、本発明の第1の実施例を第1図を参照して説明する。第1図において、第3図で用いた部材と同一の機能を有するものには同じ符号をつけてある。

第1図で、エキシマレーザ光源10を出射したビームは、紫外用反射ミラーM<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub>、

フライアイレンズ5の隣り合った元素トレンズにできる3次光源a<sub>1</sub>（又はb<sub>1</sub>、c<sub>1</sub>）同志に $2m\pi$ （ $m=1, 2, 3, \dots$ ）の位相差を与える。言いかえると、隣り合った元素トレンズに入射する光（波面）に $2m\pi$ の位相差を与えること、すなわち $m\lambda$ （ $\lambda$ はビームの波長）光路差を与える。スペックルはフライアイレンズの元素トレンズの間隔に対応した周期的な構造をもっており、隣り合った3次光源a<sub>1</sub>同志からの光の位相差が変化すると、スペックルは移動し、位相差が $2\pi$ 変化するたびに、スペックルはちょうど1周期分移動し元と同じ状態になる。

すなわち物体を照明中に連続的、又は段階的に位相を $2\pi$ あるいは $2m\pi$ 変化させると、一定時間の照明が終了した時点でスペックルは平滑化されてしまうことになる。

ところで実際には、エキシマレーザはパルスレーザであるので、位相の変化は連続的ではなく、とびとびとなる。しかしパルスの数がある程度より多ければ連続的な変化と同様な結果を得ること

M<sub>4</sub>を介してシリンドリカルレンズを含む光学系11に入射し、断面形状が長方形のビームLB。からほぼ正方形なビームLBに整形される。そのビームLBは紫外用反射ミラーM<sub>5</sub>で曲折されてビームエクスパンダ15に入射し、所定のビーム径に拡大された後、第3図で示した第1のフライアイレンズ3に入射する。

さて、ここでエキシマレーザ光源10の構造と発振されるレーザビームの特性との関係について、第6図、第7図、第8図を参照して説明する。

エキシマレーザ光源は大別すると2つの種類に分けられる。1つは安定共振器型と呼ばれるもので、第6図に示すように誘導放出を起させる放電管100の両端に2個の共振器用ミラー102a、102bを配置して共振器を構成している。この共振器用ミラー（102a、102b）の間を光が往復することにより、誘導放出された光の振幅が強められてレーザビームLB。が出射されるが、この型のレーザ光源から出射されたレーザビームの特徴は空間的及び時間的コヒーレンスが低いこ

とである。時間的コヒーレンスが低いということは言いかえると、スペクトルの半値幅が広い( $\Delta\lambda \approx 0.4 \text{ nm}$ )ということであり、かかる光源を集積回路製造用の露光装置等に用いるには、投影レンズPLにおいて色消し(色収差補正)が必要となり、この波長領域で実用的なレンズを作ることには困難である。

もう一つのタイプのレーザ光源は、インジェクションロック型と呼ばれるものであり、第7図のように発振器と増幅器に分かれている。発振器において共振器用ミラー(102a、102b)が配置されている点は前述した安定共振型と同様であるが、このタイプでは発振器内に所定の領域の波長を選択するためのエクロン、回折格子等の波長選択素子(106)が備えられているとともに、放電管100の両端にレーザビームを所定の領域で遮断するアパーチャ(104a、104b)が配置されており、発信されるレーザビームのスペクトルの半値幅が狭く( $\Delta\lambda \approx 0.001 \text{ nm}$ )、即ち単色性が向上している。さらに発振された

レーザビームはミラー(108)で曲折されて増幅器に入射し、第2の放電管(110)の両端に凸状面と凹状面を向きあわせて配設された不安定共振器用ミラー(112a、112b)によって増幅されて出射される。この型のレーザ光源から出射されるレーザビームの特徴の一つは、発振器において単色性が高められており時間的コヒーレンスが高く、投影レンズPLにおいて色消しの必要がないということである。

このため、単一の硝材(石英)のみでレンズを作ることができ、設計、製造とも容易であるという利点がある。しかし、インジェクションロック型レーザ光源のもう一つの特徴として、不安定共振器によって増幅されているために空間的コヒーレンスが極めて高いということがあり、かかるレーザ光源を用いると露光領域に強い干渉縞が生じてしまう。

そこでそのような不都合を解決するために開発された新しい型のレーザ光源として、第8図に示す様なものがある。この型のレーザ光源は、前述

した安定共振器型レーザ光源に例えばエクロン、プリズム、回折格子等の波長幅狭帯化用の波長選択素子114を配設してあり、出射されるレーザビームのスペクトル幅を狭く( $\Delta\lambda \approx 0.003 \text{ nm}$ )している。かかるレーザ光源から出射されるレーザビームの特徴は、波長選択素子114を設けたことによって時間的コヒーレンスが向上しており、かつインジェクションロック型に比べて空間的コヒーレンスが低いことである。

以上、3つのレーザ光源を述べたが、本実施例で用いるレーザ光源10は、波長選択素子、即ち時間的コヒーレンスを高める手段を増えた第8図の安定共振型レーザ光源とし、投影レンズPLの色収差補正を不要としている。

また、空間的コヒーレンスはインジェクションロック型に比べて低くなっているため、かかるレーザ光源から出射されたビームにより生じるスペックルのコントラストは非常に低いものとなっている。

しかしながら、エキシマレーザ光源から出射さ

れるビームの断面形状は一般的に縦横比が1:2~1:5の矩形をなしており、空間的コヒーレンスは等方的ではなく、特にビーム断面の長手方向より短手方向において高くなっている。このため、スペックルはビーム断面の短手方向に発生しやすく、第1図に示したレーザ光源10から出射されるビームによって生じるスペックルパターンは、コントラストの低い一次元の干渉パターンとなっており、この干渉縞のピッチ及び配列方向は先にも述べた通り、強度分布均一化手段として照明系に配設されるフライアイレンズ等のレンズエレメントの間隔及び配列方向に対応している。

再び第1図の説明に戻り、ビームエクステンダー15を射出したほぼ正方形断面の平行ビームは第1図のフライアイレンズ3、レンズ4を介して走査ミラー17に入射する。本実施例のレーザ光源10は、第8図に示したように、内部に波長選択素子を備えた安定共振器型のK<sub>r</sub>Fエキシマレーザ光を発振するものとしたので、ビーム断面の短手方向に関して空間的コヒーレンスが高く、走査ミラー17によるビームの揺動は、その短手方向に合わせて一次元に行なわれるものとする。従って本実施例において走査ミラー17は、シリンドリカルレンズを含む光学系11により整形される前のビームLBの断面の長手方向、即ち縦方向に振動中心軸が一致するように配置され、ガルバノ、ピエゾあるいはねじれ振動子等の振動源(偏向源)19に接続されている。

ここで、ビームが振動される方向は常にビームの短手方向と完全に一致させておく必要はなく、ビームの長手方向と交差する方向のうち適宜選択された一方向であればよい。即ち、走査ミラー1

7の振動中心軸の方向は固定的に設定されたものではなく、除去しようとするスペックルパターン状態によって、ビームLBの長手方向と振動中心軸を相対的に45度程度までの間で適宜傾けることが好ましい。

また、この実施例においてはビームを所定回数振動させる構成をとっているが、本実施例において除去しようとしているスペックル(干渉縞)はコントラストがもともと低いので、必ずしもビームを規則的に往復するように振動させる必要はない。即ち、1スキャンの間にウェハW上に形成されたレジスト層(図示せず)の感度との兼ね合いで設定される適正露光量を得るだけのパルスを打ち終るような場合には、走査ミラー17を一方方向に所定量揺動させただけでスペックルを消失できることも想定される。なお、ビームの振動は、レーザビームLBの発振に同期させておこなうことが好ましく、本実施例においては、例えば1スキャンで50パルス程度となるように条件設定すると良い。

次に、走査ミラー17によって短手方向に振られたビームは、レンズ21を通過して、第2のフライアイレンズ5に入射し、第3図で示したように多数の3次光源(スポット光)として集光した後、発散し、集光レンズ25によって再度集光され、紫外用反射ミラー27で曲折されてメイン・コンデンサーレンズ2に入る。メイン・コンデンサーレンズ2によって適度に集光された多数の3次光源の夫々からの光は、レチクルR上ですべて重畳され、一様な照度分布となってレチクルRを照射する。これにより該レチクルR上の回路パターンが、例えば石英からなる投影レンズPLによってウェハW上に投影露光される。

ここで、投影レンズPLは片側(ウェハ側)又は両側テレセントリックであり、第2のフライアイレンズ5の出射面側にできる3次光源像は、集光レンズ25、メイン・コンデンサーレンズ2等によって瞳epとほぼ共役となっている。即ち、瞳epには3次光源の点光源(ビームの収束点)がフライアイレンズ3と5の夫々のレンズエレ

メント数の積だけ形成されることになる。

また、レーザ光源10で発振されたビームLBの長方形断面の長手方向は、本実施例ではフライアイレンズ3、5の各エレメントレンズの一方の配列方向(第1図で光軸AXをZ軸とするとY軸方向)に一致するように定められている。さらに2つのフライアイレンズ3、5の各エレメントレンズの配列も、互いにX方向とY方向とで一致しているものとするが、必ずしもその必要はなく、第1図に示したフライアイレンズ3とフライアイレンズ5とを図の状態から光軸AXを中心に相対的に回転させておいてもよい。

次に本実施例の作用、動作について述べる。

本実施例のレーザ光源10の場合、ビームLBの空間的コヒーレンスが元々低いため、先に第3図によって説明したように、第1のフライアイレンズ3で作られる2次光源a、b、c同志が互いに干渉しないようにエレメントレンズ3a、3b、3cの間隔を設定しつつ実用的な寸法及び個数でフライアイレンズを製造することができる。



ところが、第2のフライアイレンズ5では、3次光源 $a_i$  (又は $b_i$ 、 $c_i$ )同志が互いに干渉しないようにエレメントレンズ5-1、5-2、5-3の寸法を定めると、特にビームLBの断面の短手方向と一致した配列方向に関しては、極端な場合第1のフライアイレンズ3の外形寸法の10倍程度の大きさになってしまう。このようなことは装置構成上、極めて不都合なことであり、そのため、3次光源 $a_i$  (又は $b_i$ 、 $c_i$ )同志による干渉は避けられない。そこで第1図に示した走査ミラー17を揺動させて、フライアイレンズ5の隣り合ったエレメントレンズで作られる3次光源 $a_i$  (又は $b_i$ 、 $c_i$ )同志に $2m\pi$ の間で位相差を与え、第5図のように干渉縞の平滑化を行なう。尚、2次光源 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 同志に干渉性がないとすると、フライアイレンズ5の1つのエレメントレンズ内に作られる3次光源 $a_i$ 、 $b_i$ 、 $c_i$ 同志にも干渉性がない。

ここで、3次光源による干渉の様子を考えてみると、例えば第9図に示すように、フライアイ

レンズ5の各エレメントレンズ5a、5b、5c、5d、5e、5f、5g、5hがX、Y方向に規則的に配列され、レーザ光源10からのレーザビームLBの断面の長手方向がY方向と一致している場合、Y方向に関してはビームLBの空間的コヒーレンスが元々低いために、Y方向に配列されたエレメントレンズ、例えば5a、5d、5gの夫々にできる2次光源aからの3次光源Aa、Ad、Agは互いに干渉しないような条件が成り立つ。ところが、X方向に関しては、比較的に空間的コヒーレンスが高いために、例えばX方向に並んだエレメントレンズ5c、5d、5e、5fの夫々に2次光源aからの光で作られた3次光源Ac、Ad、Ae、Afは互いに干渉してしまう。

この3次光源Ac、Ad、Ae、Afによる干渉も、系の条件によって変化し、例えば隣り合った2つのエレメントレンズ5c、5dの3次光源Ac、Adのみが互いに干渉し、3次光源Acに対して2つ以上離れたエレメントレンズ5e、5

fの3次光源Ae、Afの夫々の間では全く干渉が起らない場合、あるいは3次光源Ac、Ad、Aeの3つだけが互いに干渉する場合、さらにはX方向のエレメントレンズの同一位置にできる3次光源Ac、Ad、Ae、Afの全てが互いに干渉する場合等がある。第10図は、隣り合った2つのエレメントレンズ内の同一位置にできる3次光源のみ (例えばAcとAd、AdとAe、AeとAf) が互いに干渉したときに、レチクルR (又はウェハW) 上に生じる干渉縞の強度分布 $F_r$ を示し、理論的には正弦波になる。

従ってこのような場合は、互いに干渉し合う3次光源の位相差が $\pi$  (あるは $K=0, 1, 2, 3, \dots$ として、 $2K\pi + \pi$ ) だけずれるように走査ミラー17の角度を変えて、レーザ光源10から2パルスを発振すれば、2パルス目による干渉縞の強度分布 $F_r$ は丁度1/2ピッチだけずれることになり、これらを重ね合わせたものは数学上はフラットな強度分布 $F_r$ になる。しかしながら一般には、X方向に並んだいくつかの3次光源

が相互に干渉し合うため、第5図(a)に示したような複雑な強度分布になる。ところが、X方向に並んだ $n$ 個の3次光源同志 (例えばAc、Ad、Ae、又はAd、Ae、Af等) が互いに干渉し合う場合でも、数学的な解析によれば、 $n$ 個の3次光源の夫々が $2\pi/n$ ずつ位相差を変えるように、すなわちレチクルR上の干渉縞が、 $1/n$ ピッチずつ、ピッチ方向に移動するように走査ミラー17の角度変化に同期して $n$ パルスのビームを照射すると、重ね合わされた強度分布をフラットにできることがわかっている。従ってフライアイレンズ5のX方向のエレメントレンズの数を $n$ とすると、例えば走査ミラー17が半周期振動 (干渉縞の1ピッチの移動に相当) する間に同一強度で $n$ パルスを照射すれば、ウェハW上の露光領域に生じた干渉縞による露光むらは消せることになる。

ただし、この場合は、走査ミラー17の角度変化と各パルス光毎の発振トリガーのタイミングとを極めて正確に保つ必要がある。

また別の考え方として、走査ミラー17が半周期振動する間に、 $n$ パルスよりも十分大きなパルス数で露光を行なうこともできる。先にも述べたようにフライアイレンズ5のX方向のエLEMENTレンズの数を10とすると、 $n=10$ であるので、走査ミラー17の半周期の振動の間に約50パルス（往復では100パルス）程度を発振させるものである。この場合は、走査ミラー17の角度変化と各パルス光毎の発振トリガーとをそれ程正確に保つ必要がなく、装置化の点で有利である。また、実験によって、干渉縞の平滑化のために走査ミラーの半周期中に必要な最小パルス数 $N_{min}$ を求めておき、あるショットの露光に必要な総パルス数が $m \cdot N_{min}$  ( $m=1, 2, 3, \dots$ ) になるように各パルス光の光量を調整しておけば、適正露光量の制御も容易に実現できることになる。

以上、本実施例では、走査ミラー17をビームLBの断面の短手方向（長手方向と直交する方向）に合わせて1次元のみ振動させたが、これはフライアイレンズ5によって作られた3次光源の

X方向（ビームLBの短手方向）の配列のみによって1次元の干渉縞が発生するからであって、もし、ビームLBの断面の長手方向（Y方向）に沿って並んだ3次光源同志によっても干渉が起る場合は、全く同様の考え方で走査ミラー17を2次元に揺動させればよい。この場合、3次光源の夫々は、 $ep$ 上でラスタ走査と同様に微小量だけ同時に位置変化する。また1枚の走査ミラー17を2次元振動させる代りに、X方向用とY方向用に2枚の走査ミラーを設けてビームの振動方向を分担させてもよい。

また、本実施例では、レーザ光源10から射出するビームLBの断面の長手方向と、各フライアイレンズ3、5のエLEMENTレンズの一方の配列方向（Y方向）とを一致させたが、これは任意の関係でよく、必須の条件ではない。しかしながら、その関係がどのようなものであっても、走査ミラー17の振動によるビームの少なくとも一方の揺動方向は、元々のビームLBの断面の長手方向と交差する方向になる。

次に本発明の第2の実施例を第11図を参照して説明する。第11図は、照度分布均一化手段のみを示し、他の構成は第1図のものと同様である。また第1図で示した部材と同一のものには同じ符号を付けてある。本実施例では、第1のフライアイレンズ3の前にも、ビームを揺動させるための走査ミラー16、及びその振動源18を設けた点が第1の実施例と異なる。

本実施例においても、レーザ光源10は内部に波長選択素子を有する安定共振器エキシマレーザ（KrF）光源とし、発振されたビームLBの断面は長方形であり、長手方向の空間的コヒーレンスはダブル・インテグレートによっても干渉縞が生じない程度に低く、短手方向の空間的コヒーレンスはかなり高いものとして説明する。

第1の実施例では、空間中の面SP<sub>1</sub>に第1のフライアイレンズ3で作られた多数の2次光源像（スポット光）同志は、互いに干渉しないとしたが、条件によっては干渉することがある。この場合、先に第4図で説明したように、第2のフライ

アイレンズ5の各ELEMENTレンズ5-1、5-2、5-3の同一位置にできる3次光源a<sub>1</sub>（又はb<sub>1</sub>、c<sub>1</sub>）同志は当然互いに干渉するが、さらに、1つのELEMENTレンズ内にできる3次光源a<sub>1</sub>、b<sub>1</sub>、c<sub>1</sub>同志も互いに干渉することになる。

ここで第11図（第3図でも同様）からも明らかなように、2次光源像ができる面SP<sub>1</sub>と3次光源像ができる面SP<sub>2</sub>とは互いに共役である。しかも、第2のフライアイレンズ5の1つのELEMENTレンズは、第1のフライアイレンズ3の射出側にできた全ての2次光源像を再結像することになるので、比較的大きな倍率がかかっている。典型的な例として、フライアイレンズ3、5の各ELEMENTレンズの径寸法が等しく、かつ配列方向の数がともに10個であるとする、倍率は10倍になる。

従って、第1実施例のように、第9図で示した3次光源Ac、Ad、Ae、Af同志の干渉によるスペックルパターンを平滑化するのに必要な走

査ミラー17の最小の角度変化範囲だけでは、2次光源同志による干渉の影響が残ってしまうことになる。

そこで走査ミラー17の角度変化範囲を、典型的な例として約10倍以上にすることが考えられる。しかしながら、走査ミラー17を大きく振ることは、フライアイレンズ5に入射する光束の一部がけられる可能性を大きくするため、あまり好ましいことではない。仮りに、走査ミラー17の大きな振れ角の始めと終りとでフライアイレンズ5に入射する光束の一部がけられると、それはそのままウェハWへの適正露光量に対する誤差あるいはスループットの低下となり、極めて不都合なことになる。

そこで本実施例では、走査ミラー16によって第1のフライアイレンズ3に入射するビームを揺動させて、2次光源同志の位相差を $2m\pi$ の間で変化させつつ複数のパルス光を照射するようにした。もちろん、走査ミラー17によるビームの揺動も、第1実施例と同様に同時に行なわれる。

様に走査ミラー17を半周期（又は1周期程度）だけ揺動させつつ、数十パルスの発光を行なえばよい。

もちろん、ビームLBの空間的コヒーレンスが高くなれば、2次光源a、b、cの3つ以上が互いに干渉し合うことになるため、それに応じて走査ミラー16の角度変化の割合は細くなる。このため、走査ミラー16の角度を一定量だけ変化させては、走査ミラー17を半周期（又は1周期）だけ振ることを繰り返すことになる。

ところで、例えば走査ミラー17の半周期のうちに50パルス程度の発光を行なうものとする、走査ミラー16の角度変化の回数は最低で約10回（フライアイレンズ3のエLEMENTレンズの干渉方向の数）必要になることもあり、ウェハ上の1つの領域（1ショット）を露光するのに最低でも $50 \times 10 = 500$ パルスが必要になる。このことは適正露光量を考慮して、1パルスあたりの光量を第1の実施例にくらべて $1/5 \sim 1/10$ 程度に絞って露光することを意味する。エキシマ

2次光源同志による干渉によってレチクルR（又はウェハW）上にできる干渉縞の様子は、先に第10図を用いて説明したのと全く同じであるが、第1と第2のフライアイレンズ間で、例えば、10倍の倍率があるため、レチクルR上の干渉縞のピッチは、3次光源a、同志の干渉で作られる干渉縞のピッチよりも約10倍大きくなる。従って、例えば第1のフライアイレンズ3の隣り合ったELEMENTレンズの2次光源のみが互いに干渉するような場合は、第12図に示すようにピッチの長い正弦波状の強度分布 $F_r$ と、ピッチの短い強度分布 $F_r$ が重畳した干渉縞が現われる。

この第12図のような干渉縞の場合、走査ミラー16は互いに干渉する2つの2次光源に $\pi$ の位相差を与えるように、少なくとも2つの角度位置に振ればよい。すなわち走査ミラー16がある角度位置のときに、走査ミラー17を半周期（又は1周期程度）だけ揺動させつつ、数十パルスの発光を行ない、次に走査ミラー16を所定量だけ角度変化（位相差 $\pi$ を与える）させた状態で、同

レーザ光源の一般的な繰り返し発光周波数は100～200Hz程度であるため、1ショットの露光時間は2.5～5秒にも及び、スループットの大幅な低下が起り得る。そこで先にも説明したように、走査ミラー17の角度変化と各パルス毎の発振トリガーのタイミングとをなるべく正確に同期させ、走査ミラー17の半周期中に照射するパルス数を極力小さくするとともに、走査ミラー16の角度変化もなるべく正確に行なうようにする。こうすれば第1図の実施例とくらべて大幅なスループットの低下は生じない。

以上、本実施例によれば、空間的コヒーレンスの高いレーザ光源、例えば第7図に示したインジェクションロック型レーザを用いたとしても良好にスペックルパターンを平滑化できる。もちろん、走査ミラー16、17をともに2次元に振動させる構成にしておけば、2次元の干渉縞又はランダムなスペックルを良好に平滑化できる。

尚、本実施例においては、振動源18、19及びレーザ光源10のトリガー回路は、適宜の制御

手段によって同時に同期制御される。

次に本発明の第3の実施例を第13図により説明する。第13図は1段目のオブチカル・インテグレートに石英による四角柱のロッド30を用いた場合の照度分布均一化手段の例を示す。レーザ光源10からのビームLBは適宜の光学系を用いて集光ビームLB'に変換される。集光ビームLB'は集光点(スポット)SP。からわずかに発散した位置でロッド30の入射端に入っている。ビームLB'はロッド30の内部で多重反射を繰り返して、ロッド30の他端から発散した光となってレンズ4に入射する。レンズ4を通った光束は走査ミラー17で反射され、空間中の面SP。に多数の2次光源となって集光し、そこから再び発散してレンズ21に入射し、各2次光源からの光はそれぞれほぼ平行光束(互いにわずかに角度が異なる)となって第2のオブチカル・インテグレートとしてのフライアイレンズ5に入射する。この実施例では、ビームLB'のロッド30内部での多重反射により、1つの集光点SP。が見か

レータを2段にして、被照明体上での照度分布を均一にするとともに、オブチカル・インテグレートを用いることによって生じるスペックルパターン(干渉縞)を良好に平滑化することができるので、レーザ光のように可干渉性のあるビームを用いても、ゴースト、スペックル等のない様な照明光を得ることができ、微細パターンの露光、光加工(光CVD等)、アライメント観察等が極めて高い精度で達成される。

特に投影型露光装置に応用した場合は、投影光学系の瞳に形成されるビームスポット像(3次光源)の数を、オブチカル・インテグレートの2段化によって極めて多くすることができるため、投影光学系内部の特定のレンズ素子に極端に大きなエネルギーが集中することがなく、投影光学系の破損が防止されるという効果もある。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の第1の実施例による照明光学装置を投影型露光装置に適用した場合の構成を示す斜視図、第2図は従来の装置におけるフライ

アアイレンズと投影露光系の関係を示す図、第3図は本発明の基礎となるダブル・フライアイレンズの構成を説明する図、第4図は第3図の構成によって得られる光源像(スポット光)の配列を示す平面図、第5図(a)、(b)、(c)はそれぞれ被照明体に1パルスの照明光で生ずる干渉縞の強度分布、多数パルスの照明光で平滑化するときの干渉縞の位置移動、及び平滑後の強度分布を表わす図、第6図、第7図、第8図はそれぞれレーザ光源の代表的な構造を示す図、第9図は2段目のフライアイレンズの射出端にできる3次光源(スポット光)の配列を示す平面図、第10図は干渉縞の平滑化の様子を説明する図、第11図は本発明の第2の実施例による照明光学装置の構成を示す図、第12図は可干渉性の強いビームをダブル・フライアイレンズに入射したときに被照明体上に生じる干渉縞の強度分布の一例を示す図、第13図は本発明の第3の実施例による照明光学装置の構成を示す図である。

以上、本発明の各実施例を説明したが、オブチカル・インテグレートとしては、1段目を細いオブチカル・ファイバーを束ねたバンドルにし、2段目をフライアイレンズにした組み合わせでもよい。またフライアイレンズのエレメントレンズはハニカム形状(正六角形)にして、一体の石英材を加工したものにしてもよい。

また、本発明は、第1図のような縮小投影型露光装置だけでなく、均一な照度分布で照明を行わなければならない装置全般に、そのまま応用できるものである。

さらに、本発明の各実施例では1段目と2段目のオブチカル・インテグレートの間で走査ミラーを揺動させるものとしたが、2段目のオブチカル・インテグレートの後にも走査ミラーを設けて所定の周期で振動させてもよい。

#### (発明の効果)

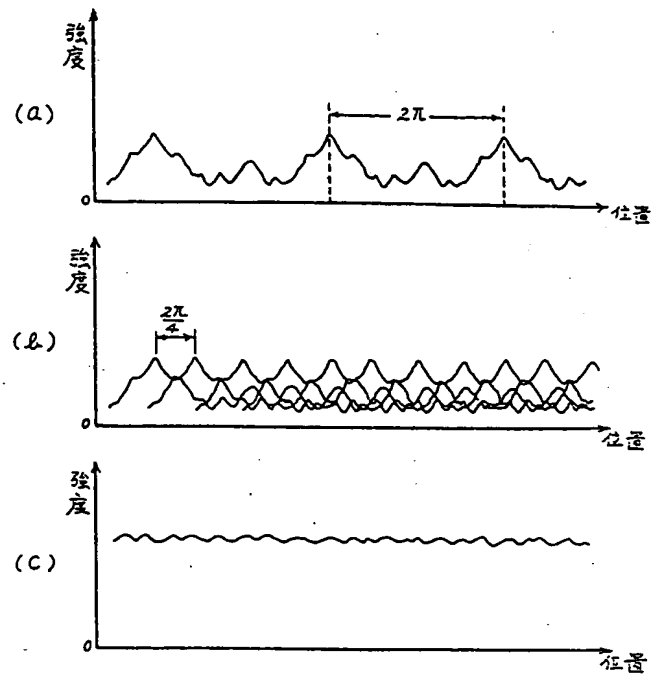
以上、本発明によれば、オブチカル・インテグ

レートを用いることによって生じるスペックルパターン(干渉縞)を良好に平滑化することができるので、レーザ光のように可干渉性のあるビームを用いても、ゴースト、スペックル等のない様な照明光を得ることができ、微細パターンの露光、光加工(光CVD等)、アライメント観察等が極めて高い精度で達成される。

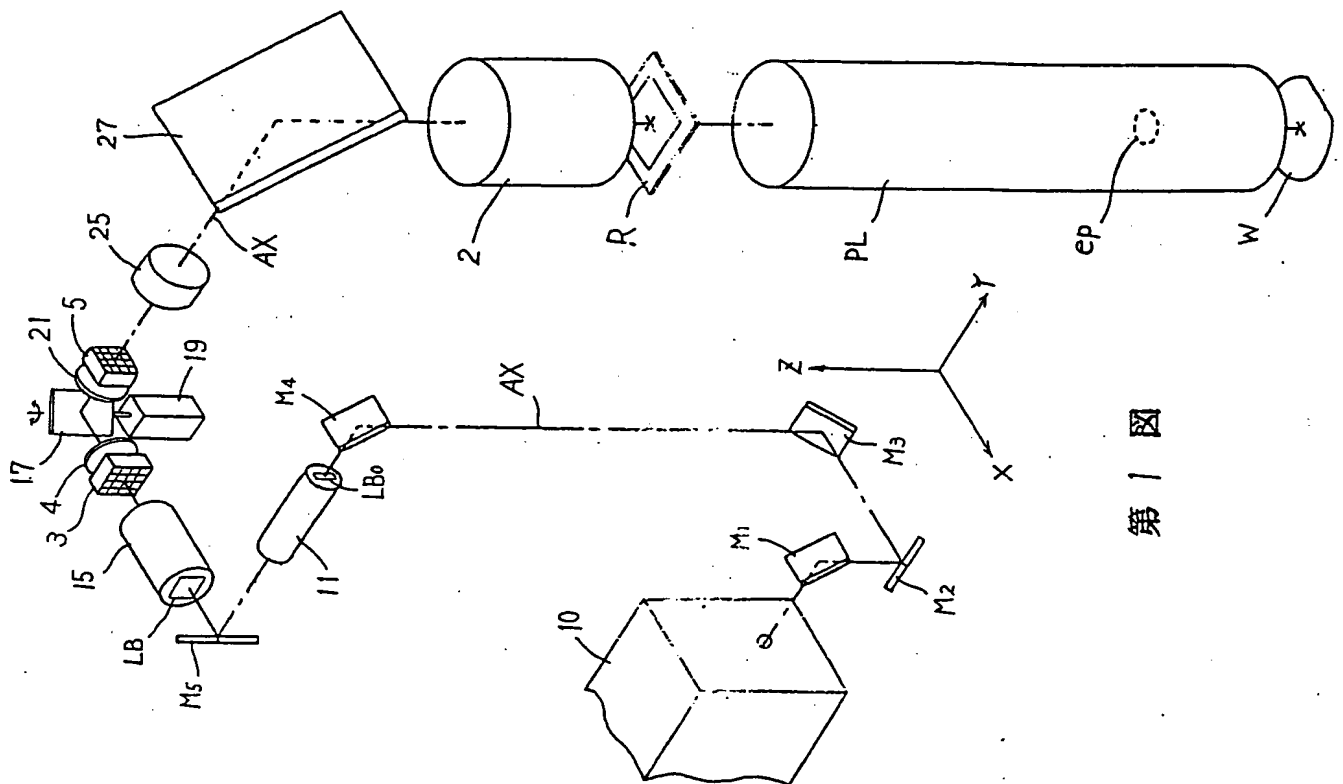
(主要部分の符号の説明)

1、3、5…フライアイレンズ、  
 2…コンデンサーレンズ、10…レーザ光源、  
 16、17…走査ミラー、30…ロッド、  
 R…レチクル、PL…投影レンズ、W…ウェハ、  
 LB…発振ビーム。

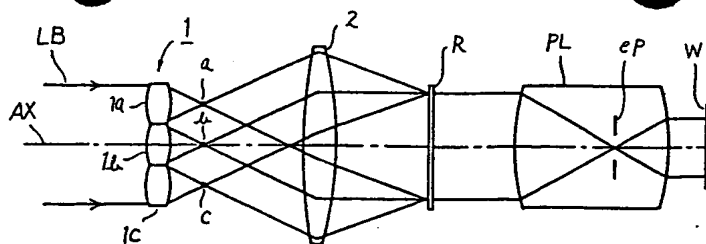
出願人 株式会社ニコン  
 代理人 渡辺 隆 男



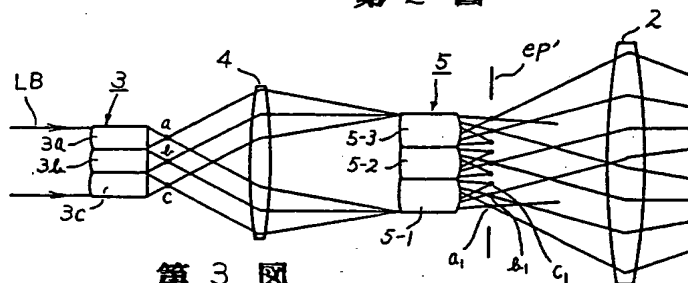
第 5 図



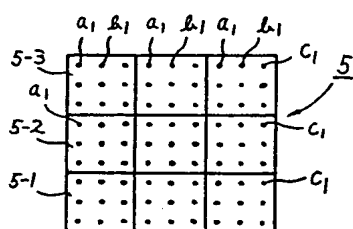
第 1 図



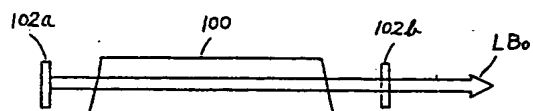
第 2 図



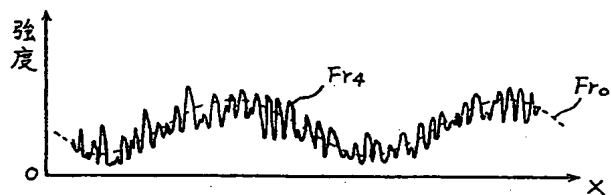
第 3 図



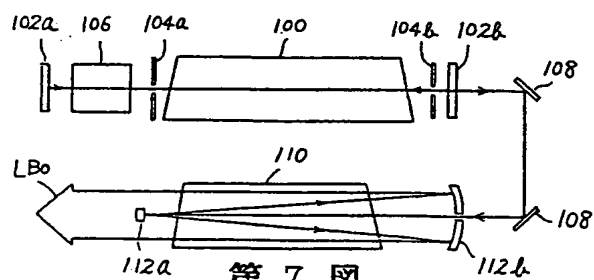
第 4 図



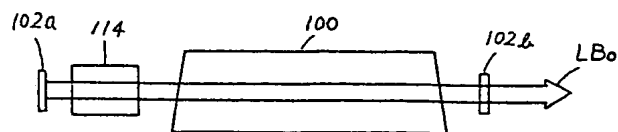
第 6 図



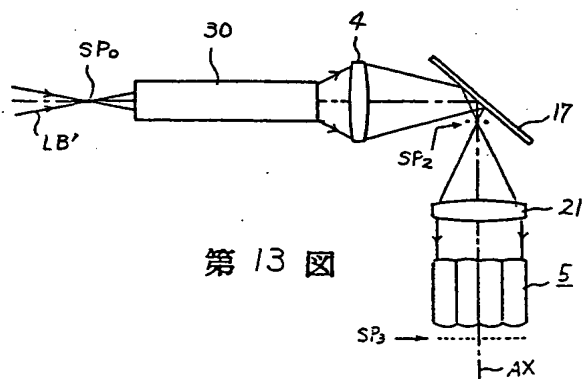
第 12 図



第 7 図



第 8 図



第 13 図



CLIPPEDIMAGE= JP401259533A

PAT-NO: JP401259533A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 01259533 A

TITLE: ILLUMINATING OPTIC DEVICE

PUBN-DATE: October 17, 1989

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

ICHIHARA, YUTAKA

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

NIKON CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP63088453

APPL-DATE: April 11, 1988

INT-CL (IPC): H01L021/30;G02B026/10 ;H01S003/101

US-CL-CURRENT: 385/14

ABSTRACT:

PURPOSE: To eliminate exposure nonuniformity due to interference fringes produced in an exposed area on a wafer by providing a first rocking means which allows light entering a second optical integrator to be rocked at least one-dimensionally.

CONSTITUTION: A rocking means (a first scanning mirror-17, etc.) which allows light flux incident on a second optical integrator to be rocked at least in one direction (one dimension) is provided between a first-stage optical integrator (a fly eye lens 3, a single rod, or an optical fiber flux) and a second-stage optical integrator (a fly eye lens 5, etc.). Thus, the optical integrator is



configures in two stages to allow illumination distribution on an object to be illuminated to be uniform and speckle pattern (interference fringe) to be smoothed satisfactorily by rocking a scanning mirror 17. It allows a uniform illumination light without any ghost, speckle, etc., to be obtained.

COPYRIGHT: (C)1989,JPO&Japio